

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-088260

(43)Date of publication of application : 30.03.1999

(51)Int.Cl.

H04B 10/02  
H04B 10/18  
G02B 6/00  
H04B 10/14  
H04B 10/135  
H04B 10/13  
H04B 10/12

(21)Application number : 09-243877

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 09.09.1997

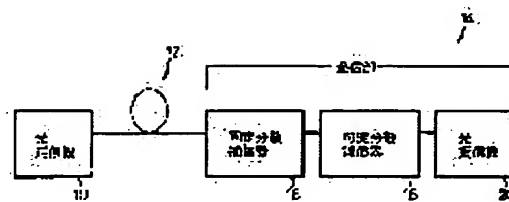
(72)Inventor : ISHIKAWA JOJI

## (54) SPREAD COMPENSATING DEVICE OF OPTICAL TRANSMISSION LINE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To efficiently compensate the spectrum spread of a transmission line according to the kinds of conditions such as a transmitting distance concerning the optical signal of a large capacity by providing a fixed spreading amount so as to roughly compensate the spectrum spread of an optical transmission line and providing a variable spreading amount so as to precisely compensate the spectrum spread of the optical transmission line.

**SOLUTION:** A fixed spread compensator 216 is provided with the fixed spreading amount to roughly compensate the spectrum spread of the optical transmission line. As this compensator 16, a spread compensating fiber obtained by providing refractive index distribution of a special radial direction for the core of a fiber, e.g. to provide the spread of polarities reverse (negative) to the polarity (positive) of the spread of normal SMF or a fiber grating spread compensator obtained by forming a black grid made by the variation of a refractive index at the core of a fiber to provide negative spreading can be used. A variable spread compensator 18 is provided with the variable spread amount to precisely compensate the spectrum spread of the optical transmitter. As the compensator 18, a PLC spread compensator and what varies the spreading amount by giving stress inclination and temperature inclination to fiber grating.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Part translation of Japanese Patents

**JP Publication No.H11-88260**

[0004] On the other hand, transmission cables constituted by 1.55  $\mu\text{m}$ -band dispersion shift fibers (hereafter called DSF) are laid down for accomplishing 10Gb/sec long-distance transmission in recent years. Here, the zero-dispersion wavelength  $\lambda_0$  are not the same for all fibers spanning between respectively different relaying stations. This inconsistency in terms of the zero-dispersion wavelength  $\lambda_0$  is attributable to micron scale variations associated with the core diameters of these fibers, which are produced by a drawing process of which conditions may not be the same for all the fibers. In addition,  $\lambda_0$  does not stay constant all across the length of each fiber. And further, a communication cable spanning between each pair of relaying station, in general, is a multi-core cable that comprises a number of segment cables each being several km long and connected to each other to the length required to span between relaying stations. The zero-dispersion wavelength  $\lambda_0$  of one segment fiber may not be the same as that of the connecting segment fiber, namely the various values of the zero-dispersion wavelength  $\lambda_0$  appears randomly across an entire length spanning between relaying stations of each pair. Consequently, it is possible that the zero-dispersion wavelength  $\lambda_0$  may fluctuate to an extent exceeding a  $\pm 10$  nm range for an entire length spanning between relaying stations of a pair and, further to it, this fluctuation amount can be different from one span to another. The inconsistency of this nature associated with the zero-dispersion wavelength  $\lambda_0$  necessitates dispersion compensation applied in a highly strict manner when achieving a 40 Gb/sec DSF long-distance transmission system.

[0005] It is possible to adopt, for an optical transmission system of which the transmission rate is 10 Gb/sec or below, dispersion compensation units of a type each having a fixed dispersion amount such, as a dispersion compensation fiber (DCF) and a fiber grating, and dispose these units of the same one type commonly for all the transmission lengths each being 20-40 km long because the dispersion tolerance of a system of this transmission capacity is relatively wide. But when constructing a 40 Gb/sec transmission rate system, the associated dispersion tolerance becomes so stringent that it is necessary to optimize compensation amounts for the transmission spans respectively. According to the prior art technology, optimization in this respect may possibly be accomplished by one of the following two approaches: i) measuring dispersion amounts for all the transmission spans respectively and fabricating dispersion compensation units of which the compensation amounts are adjusted so as to match with these measured dispersion amounts respectively; and ii) preparing a series of dispersion compensation units, each consisting of a DCF or a fiber-grating, of which the dispersion compensation amounts are set to vary from each other by small amounts in a manner associated with weights for a scale and choosing an optimum combination of these units for compensating an actually measured dispersion amount of an associated transmission span. If one follows the option ii) method, the apparatus size will become large because these units are connected in multiple stages and a compensation-unit-insertion loss will increase if optical connectors are used for connecting these units. It is possible to find an optimum combination of these units in a try and error basis if the

measured wavelength dispersion amount is not available. But this try and error base approach will demand a tremendous amount of trial work as well as an extra number of units that eventually turns out to be unnecessary. It is impossible to compensate for a dispersion of which the amount changes with passage of time due to changes in temperature of a subject transmission cable (tubular path), or in pressure or vibration externally applied to it.

[0006] Based on these findings, it is considered necessary to develop a 'variable dispersion compensation unit' that comprises of a single device if we are to constitute a ultra-high transmission rate system such as a 40 Gb/sec system. A type of variable dispersion compensation units proposed, being associated with a prior art technology, is called a PLC (Planner Lightwave Circuit) dispersion compensation unit (K. Takiguchi et al., ECOC' 93 ThC.12. 9) and is associated with a variable range between  $-383$  ps/nm and  $+615$  ps/nm. A variable dispersion compensation unit with a variable range between  $-383$  ps/nm and  $+615$  ps/nm can only cope with an SMF of an around 20 km length of which the unit wavelength dispersion value is  $+18$  ps/nm/km. This implies, together with consideration of productively and controllability associated with units of this type, it is impossible to adopt this compensation unit for constituting a commercially viable system. A method offered for making a dispersion compensation amount of a fiber grating type dispersion compensation unit variable is one in which a temperature gradient is created across a fiber grating type compensation unit by using a peltiert element or applying externally a stress to a fiber grating itself of a fiber grating type compensation unit by using a piezoelectric element external (M. Kato and Y. Miyajima, OECC' 97 9D1-2). But the unit constituted accordingly is not usable for a commercially viable system either because it requires a complex control and is functional only for a narrow dispersion range.

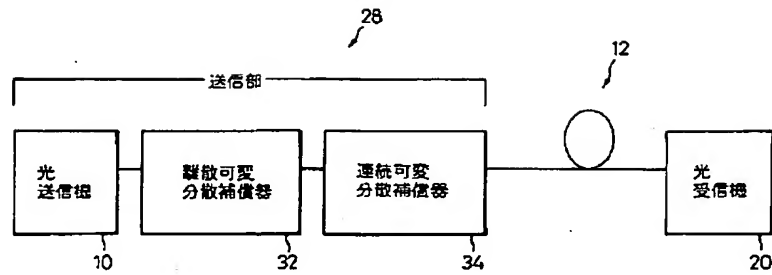
[0017] When operating a system of any embodiment of the present invention described above, it is possible to decide where to dispose dispersion compensation units (fixed or variable continuously or in steps) and what are the required dispersion compensation amounts of these units from test results obtained by various tests including a waveform transmission simulation test and indicating wavelength dispersion characteristics together with their changes along the transmission path, providing such test data is available. And, even if there is no wavelength dispersion characteristic data for the transmission path, it is possible to measure transmission characteristics at the receiving side by using the transmission characteristics measuring unit 36 when starting up an associated system as indicated in Figs. 21-26, and adjust dispersion compensation values of these units so as to achieve the optimum transmission character. As indicated in the drawings, it is also possible to sweep a dispersion compensation amount by keeping a control signal fed back to the variable dispersion compensation units (ones variable continuously or in steps). It is useful here to measure transmission characteristics including a code error rate, Q value, checking of a parity bit contained in a signal, a transmission waveform and so on.

[Fig.21] Provided is a block diagram indicating an optical transmission system of the 3<sup>rd</sup> embodiment of the present invention.

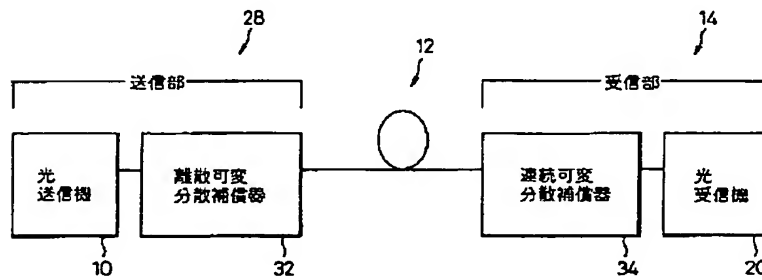
[Fig.21]

- 10: Optical transmitter
- 14: Receiving unit
- 16: Fixed dispersion compensation unit
- 18: Variable dispersion compensation unit
- 20: Optical receiver
- 36: Measuring transmission characteristics
- ① Feedback of control signal

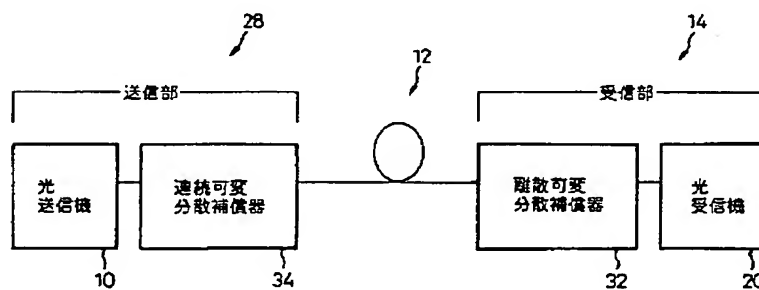
【図 1 5】



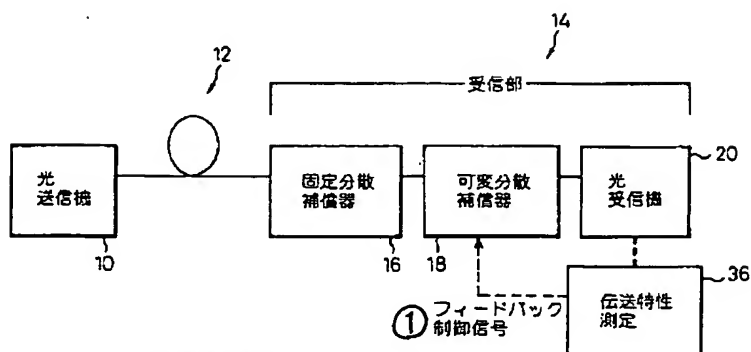
【図 1 7】



【図 1 8】



【図 2 1】



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-88260

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月30日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 0 4 B 10/02  
10/18  
G 0 2 B 6/00  
H 0 4 B 10/14  
10/135

識別記号

F I

H 0 4 B 9/00  
G 0 2 B 6/00  
H 0 4 B 9/00

M  
C  
Q

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-243877

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月9日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 石川 丈二

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

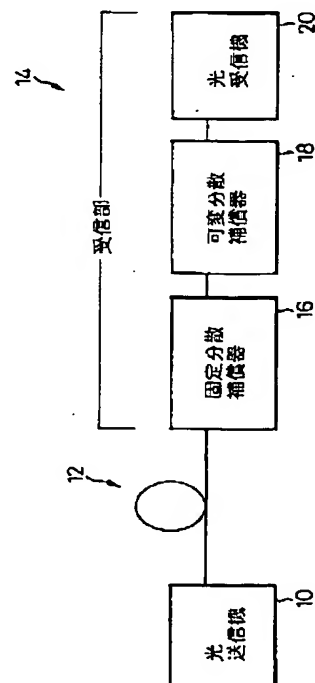
(74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光伝送路の分散補償装置

(57) 【要約】

【課題】 精密でかつ大きい分散値が可能な分散補償を行なって大容量かつ長距離の光伝送を実現する。

【解決手段】 固定的な分散量を有する固定分散補償器16または分散量の不連続な変更が可能な離散可変分散補償器で粗い分散補償を行ない、可変の分散量を有する可変分散補償器18または分散量の連続的な変更が可能な連続可変分散補償器で精密な分散補償を行なう。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 固定的な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための固定分散補償手段と、可変の分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置。

【請求項 2】 前記固定分散補償手段及び前記可変分散補償手段は、その両方が前記光伝送路の送信側及び受信側のいずれか一方に配置される固定分散補償器及び可変分散補償器をそれぞれ含む請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】 前記固定分散補償手段及び前記可変分散補償手段は、前記光伝送路の送信側と受信側に別々に配置される固定分散補償器及び可変分散補償器をそれぞれ含む請求項 1 記載の装置。

【請求項 4】 前記光伝送路はその途中に設けられた光増幅中継器を具備し、前記固定分散補償手段は、該光増幅中継器の近傍に設けられた第 2 の固定分散補償器をさらに含む請求項 2 または 3 記載の装置。

【請求項 5】 前記可変分散補償手段は、前記光増幅中継器の近傍に設けられた第 2 の可変分散補償器をさらに含む請求項 4 記載の装置。

【請求項 6】 前記光伝送路の受信側に設けられ、該光伝送路で伝送された光信号の特性を測定することによって該光伝送路の伝送特性を測定する伝送特性測定器をさらに具備し、

前記可変分散補償手段の分散量は該伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき設定される請求項 1 記載の装置。

【請求項 7】 前記伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき、前記可変分散補償手段の分散量を自動的に制御する制御器をさらに具備する請求項 6 記載の装置。

【請求項 8】 不連続な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための離散可変分散補償手段と、連続的な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための連続可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置。

【請求項 9】 前記離散可変分散補償手段及び前記連続可変分散補償手段は、その両方が前記光伝送路の送信側及び受信側のいずれか一方に配置される離散可変分散補償器及び連続可変分散補償器をそれぞれ含む請求項 8 記載の装置。

【請求項 10】 前記離散可変分散補償手段及び前記連続可変分散補償手段は、前記光伝送路の送信側と受信側に別々に配置される離散可変分散補償器及び連続可変分散補償器をそれぞれ含む請求項 8 記載の装置。

【請求項 11】 前記光伝送路はその途中に設けられた光増幅中継器を具備し、前記離散可変分散補償手段は、該光増幅中継器の近傍に

設けられた第 2 の離散可変分散補償器をさらに含む請求項 9 または 10 記載の装置。

【請求項 12】 前記連続可変分散補償手段は、前記光増幅中継器の近傍に設けられた第 2 の連続可変分散補償器をさらに含む請求項 11 記載の装置。

【請求項 13】 前記光伝送路の受信側に設けられ、該光伝送路で伝送された光信号の特性を測定することによって該光伝送路の伝送特性を測定する伝送特性測定器をさらに具備し、

前記離散可変分散補償手段及び連続可変分散補償手段の分散量は該伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき設定される請求項 8 記載の装置。

【請求項 14】 前記伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき、前記離散可変分散補償手段及び連続可変分散補償手段の分散量を自動的に制御する制御器をさらに具備する請求項 13 記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 近年、急激な情報量の増加に伴い、光通信システムの大容量化が望まれている。国内では、伝送速度 10Gb/s の光増幅中継伝送システムの実用サービスが始まった。本発明は、今後の更なる長距離・大容量化を実現するための、伝送路の波長分散 (chromatic dispersion) および非線形効果の補償方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 伝送速度の増加にともない、光ファイバの群速度分散 (Group-velocity dispersion: GVD) による波形劣化のために、伝送距離が厳しく制限される。さらに、送受レベル差を確保するために、送信光パワーを増加させると、ファイバ非線形効果である自己位相変調 (Self-phase modulation: SPM) 効果の影響が大きくなり、群速度分散との相互作用 (SPM-GVD 効果) のために、波形劣化がより複雑になる。

【0003】 既存ファイバ伝送路の大半を占める零分散波長が 1.3  $\mu\text{m}$  帯にあるシングルモードファイバ (以下、SMF と略す。) 伝送路を用いた光伝送システムにおいては、信号光波長 1.55  $\mu\text{m}$  (石英系ファイバにおける伝送損失が最小である波長) における波長分散値が約 +18 ps/nm/km と大きいために、10Gb/s 以上では分散補償技術の適用が不可欠である。40Gb/s SMF 50km 伝送実験によれば (送受信機構成は G. Ishikawa et al., ECOC'96 ThC.3.3 参照)、パワーペナルティが 1dB 以下であるときの分散補償トレランスは 30 ps/nm と極めて小さい。つまり、40Gb/s SMF 伝送システムにおいては、中継区間ごとに高精度で分散補償しなければならない。

【0004】 一方、近年、10Gb/s 長距離伝送のために、1.55  $\mu\text{m}$  帯分散シフトファイバ (以下、DSF



と略す。) 伝送路の敷設が進められている。しかし、光ファイバ製造過程における線引き時のファイバコア径の微小変動により、各中継区間ごとの零分散波長 $\lambda_0$ にはバラツキがあり、さらに一中継区間内でも $\lambda_0$ は長さ方向に変動している。また、一般に、伝送路ケーブルは数kmのセグメントの多芯ケーブルが繋ぎ合わされており、隣接セグメント間の $\lambda_0$ には連続性がなく、ランダムに分布している。このため、一中継区間において $\pm 10\text{nm}$ 以上変動している可能性もあり、中継区間ごとにその変動の様子も異なる。このため、 $40\text{Gb/s}$  DSF長距離伝送システムにおいても厳密な分散補償が必要とされる。

【0005】伝送速度 $10\text{Gb/s}$ までの光伝送システムにおいては、分散トレランスが比較的広いために、 $20\sim 40\text{km}$ の伝送距離範囲に対して、分散補償ファイバ(DCF)やファイバグレーティングのような一定の分散値を有する分散補償器を共通に適用するシステム設計が可能である。しかし、 $40\text{Gb/s}$ システムのように分散補償トレランスが極めて小さい場合には、中継区間ごとに分散補償量を最適化する必要がある。この実現方法としては、現状では、(i)伝送路の波長分散実測値に応じた分散補償器を作製する方法、(ii)分銅方式で小刻みに分散量の異なるDCFやファイバグレーティングの“ユニット”を用意しておき、波長分散実測値に応じて、挿入するユニットの組み合わせを変更する方法程度しか見当たらない。しかし、(ii)の場合、ユニットを多段接続すると、装置規模が大型になり、各ユニット間をコネクタ接続にしたとすると、総挿入損失も大きくなる。また、波長分散値がわからない場合でも、ユニットを挿抜しながら最適化することはできるが、莫大な工数と無駄なユニットが必要となる。さらに(i)、(ii)のいずれの場合も、伝送路(管路)の温度や外的圧力や振動により、波長分散値が経時的に変化する場合には対応できない。

【0006】そこで、 $40\text{Gb/s}$ システムのような超高速システムにおいては、一つのデバイスで分散量を可変できる“可変分散補償器”の新規開発が不可欠である。これまで可変分散補償器としては、 $-383\text{ps/nm}$ から $+615\text{ps/nm}$ まで可変できるPLC(Planner Lightwave Circuit)分散補償器(K. Takiguchi et al., ECOC'93 ThC12.9)が提案されている。しかし、可変範囲が $-383\sim +615\text{ps/nm}$ の可変分散補償器では波長分散値が $+18\text{ps/nm/km}$ のSMFに対しては $20\text{km}$ 程度までしか対応できず、製造性と制御性の点でも実用化は難しい。また、ファイバグレーティング分散補償器において、ペルチエ素子により温度傾斜をつけたリ、圧電素子によりファイバグレーティング自体に外的応力(Stress)を与えることにより可変性を持たせる方法(R. I. Raming and M. N. Zervas, ECOC'96 Sho

rt courses)も提案されているが、制御の複雑さや帯域が狭い等の課題があり(M. Kato and Y. Miyajima, OECC'97 9D1-2)、これも実用化レベルには至っていない。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記の様に、これまでの可変分散補償器では、1つの分散補償器に(i)大きな分散量と(ii)大きな可変量の両方を持たせようとしているために、設計、製造、制御が困難になり、実用性に欠けている。したがって本発明の目的は、伝送速度が例えば $40\text{Gb/s}$ であるような大容量の光信号を、例えば波長分散値が $+18\text{ps/nm/km}$ の伝送路で $20\text{km}$ 以上伝送する場合のように大きな分散補償量を必要とする伝送路で伝送する場合に、伝送距離等の種々の条件に応じて伝送路の波長分散を高精度で補償することのできる分散補償装置を提供することにある。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、固定的な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための固定分散補償手段と、可変の分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置が提供される。

【0009】本発明によれば不連続な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための離散可変分散補償手段と、連続的な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための連続可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置が提供される。伝送距離の程度に応じて固定分散補償手段または離散可変分散補償手段で光伝送路の波長分散を粗く補償し、さらに、可変分散補償手段または連続可変分散補償手段で精密に補償することによって、必要な分散補償量が大きい場合でも高精度で補償することができ、大容量の伝送が可能になる。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1の実施例に係る光伝送システムを示す。図1において、光送信機10から出力される例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ 、伝送速度 $40\text{Gb/s}$ の光信号は、例えば零分散波長が $1.3\mu\text{m}$ のSMF 12で伝送され、光受信機20を有する受信部14において受信される。この実施例では、SMF 12の長さに応じていくつかのメニューから選択された分散量を有する固定分散補償器16と、伝送距離等の条件に応じて分散補償量を変更することのできる可変分散補償器18は共に受信部14に配置される。

【0011】固定分散補償器16としては、例えばファイバのコアに特殊な半径方向の屈折率分布を持たせることによって通常のSMFの分散の極性(正)と逆の極性(負)の分散を持たせた分散補償ファイバ(DCF)や、ファイバのコアに屈折率変化によるブラッグ格子を形成して負の分散を持たせたファイバグレーティング分散補償器が使用可能である。

【0012】可変分散補償器 18 としては、前述の PLC 分散補償器及びファイバグレーティングに応力傾斜や温度傾斜を与えて分散量を変えるものが使用可能である。一例として、後者のファイバグレーティングに応力を与えることによる可変分散補償器の一例 (M. M. Ohm et al., "Tunable fiber grating dispersion using a piezoelectric stack", OFC'97 Technical Digest, WJ3, pp. 155-156) について説明する。図 2 に示すように、チャープドファイバグレーティング 22 の 21 個のセグメントの各々に別々に圧電素子 24 を取り付け、各圧電素子への印加電圧  $V_1 \sim V_{21}$  として図 3 に示すように傾斜をつけて電圧を与えると、グレーティング 22 の長手方向に加わる圧力が変化し、図 3 の A~D の電圧パターンに対して図 4 のように分散値 (線の傾き) が変化する。これらの間の中間的な電圧パターンを与えることによって、分散値を連続的に変化させることができるのは勿論である。

【0013】図 5 は光信号を再生することなくそのまま増幅して中継する光増幅中継伝送システムに本発明の第 1 の実施例を適用した例を示す。図 5 及びそれ以降の図面において既出と同一の構成素子には同一の参照番号を付してその説明を省略する。図 5 において、エルビウムドープファイバ増幅器 (EDFA) 26 を有する光増幅中継器が伝送路の途中に多数設けられ光信号を非再生で中継する。図 1 と同様に固定分散補償器 16 と可変分散補償器 18 は受信部 14 に設けられる。

【0014】図 1 及び図 5 の例において、固定分散補償器 16 と可変分散補償器 18 の順番を入れ替えても良い。また、それらを図 6 及び図 7 にそれぞれ示すように光送信機 10 が備えられた送信部 28 に設けても良い。この場合にもそれらの順番の入替は可能である。図 8 及び図 9 に示すように、それらを送信部 28 と受信部 14 に別々に設けても良い。図 5 の構成に加えて、図 10 に示すように固定分散補償器 16 と可変分散補償器 18 をそれぞれの光増幅中継器 30 に設けても良い。図 10 において、全ての光増幅中継器 30 に分散補償器 16、18 が設けられているが、一部の光増幅中継器のみに設けても良い。また、受信部 14 に分散補償器 16、18 が設けられているが、送信側に設けても良い。また、図 11 に示すように、光増幅中継器 30 には固定分散補償器 16 のみを配置して粗い分散補償を行ない、受信部 14 のみに可変分散補償器 18 を配置して精密な分散補償を行なっても良い。この場合に、可変分散補償器 18 は受信部 14 でなく送信側に配置しても良い。またすべての光増幅中継器 30 に固定分散補償器 16 を配置するのでなく、一部に配置しても良い。

【0015】図 12 は本発明の第 2 の実施例に係る光伝送システムを示す。図 12 において、離散可変分散補償器 32 は不連続な値で変更が可能な分散量を有し、例えば、図 13 で示す構成で実施することができる (A. Sano

et al., ECOC'96, TuD.3.5)。図 13 において正もしくは負の分散値を有する DCF 36 が  $1 \times 4$  スイッチ 38 で従属されている。図示の例では  $-183 \text{ ps/nm}$  から  $+152 \text{ nm}$  の間で分散値を約  $7 \text{ ps/nm}$  の間隔で設定することができる。DCF の代わりにファイバグレーティング等の固定分散値設定可能な他のデバイスを使用しても良い。連続可変分散補償器 34 としては、前述した PLC 分散補償器またはファイバグレーティングに応力傾斜や温度傾斜を与えたものが使用できる。

【0016】図 14 は光増幅中継伝送システムに本発明の第 2 の実施例を適用した例を示す。図 12 と同様に分散補償器 32、34 が受信部 14 に設けられる。図 12 及び図 14 の例において離散可変分散補償器 32 と連続可変分散補償器 34 の順番を入れ替えても良い。また、それらを図 15 及び図 16 にそれぞれ示すように送信部 28 に設けても良い。この場合にもそれらの順番の入替は可能である。図 17 及び図 18 に示すように、それらを送信部 28 と受信部 14 に別々に設けても良い。図 14 の構成に加えて、図 19 に示すように離散可変分散補償器 32 と連続可変分散補償器 34 をそれぞれの光増幅中継器 30 に設けても良い。図 19 において、全ての光増幅中継器 30 に分散補償器 32、34 が設けられているが、一部の光増幅中継器のみに設けても良い。また、受信部 14 に分散補償器 32、34 が設けられているが、送信側に設けても良い。また、図 20 に示すように、光増幅中継器 30 には離散可変分散補償器 32 のみを配置して粗い分散補償を行ない、受信部 14 のみに連続可変分散補償器 34 を配置して精密な分散補償を行なっても良い。この場合に、連続可変分散補償器 34 は受信部 14 でなく送信側に配置しても良い。またすべての光増幅中継器 30 に離散可変分散補償器 32 を配置するのでなく、一部に配置しても良い。

【0017】これまでに説明した例において、伝送波形シミュレーション等から予め長さ方向変動も含む波長分散値が把握できている場合には、その結果から、分散補償器 (固定、連続可変、離散可変) の配置および分散補償量を決定することができる。一方、伝送路の波長分散が不明な場合は、図 21~26 に示すように、システム立ち上げ時に、受信側で伝送特性測定器 36 により伝送特性を測定し、伝送特性が最適になる分散補償値に設定すればよい。このとき、図に示すように制御信号を可変分散補償器 (連続可変、離散可変) にフィードバックさせながら分散補償量を掃引することも可能である。なお、ここで測定する伝送特性としては、符号誤り率、Q 値、信号中のパリティビットチェック、伝送波形等が利用できる。

【0018】図 27 に伝送特性として Q 値を測定してフィードバックする場合の伝送特性測定部 36 の詳細な構成を示し、図 28 に、図 27 に示したマイクロコンピュータ 40 の動作のフローチャートを示す。図 28 におい

て、システム立ち上げ時に可変分散補償器の分散値を掃引しながらQ値の測定を行ない(ステップ1000)、可変分散補償器の分散値をQ値が最大となる分散値に設定する(ステップ1002)。システム運用時には、例えば1時間おきにQ値の測定を行ない(ステップ1004)、それが基準値以下であれば(ステップ1006)、可変分散補償器の分散値をプラス方向へ1ステップ変化させる(ステップ1008)。これでQ値が改善されればステップ1006の判定に戻る。Q値が改善されなければ、逆にマイナス方向へ1ステップ変化させ(ステップ1012)、Q値が基準値以上になるまで、ステップ1012を繰り返す。

【0019】Q値測定系42が測定するQ値の定義を図29に示す。すなわち、

$$Q = 20 \log_{10} \left[ (\mu_1 - \mu_0) / (\sigma_1 + \sigma_0) \right]$$

但し、 $\mu_1$ ：“発光”時の平均レベル

$\mu_0$ ：“非発光”時の平均レベル

$\sigma_1$ ：“発光”時の標準偏差

$\sigma_0$ ：“非発光”時の標準偏差

である。分子には発光と非発光の信号レベル差(=信号振幅)、分母には発光および非発光の雑音の標準偏差の和を用いて表現する。雑音の分布としてガウス分布を仮定すると、図29で定義されたQ値が与える符号誤り率は、実測する符号誤り率の最小値と一致する。Q値測定系42は光受信機とほぼ同じ構成であり、リファレンス電圧可変機能を有する識別回路を用い、等化波形の識別レベルを、最適レベルから上下に変更して符号誤り率を測定し、その測定から得られた2本の直線の交点を求めることにより、符号誤り率の最小点を推定して、Q値を求めることができる。

【0020】伝送特性として、受信光の波長分散値そのものを測定してそれが最適値になるように可変分散補償器を制御しても良い。波長分散値の測定は市販の波長分散測定器をそのまま使用するか、またはそれと同じ機能を送受信装置内に組み込んで実現できる。また、波長分散値とクロック信号成分の強度との間の関係を利用して、受信信号からベースバンド帯域の特定の周波数成分、特にクロック信号成分の強度を検出して、それが極大、極小または所定の値になるように分散補償量を制御しても良い。

【0021】さらに、システム立ち上げ時のみでなく、システム運用中にも、伝送特性を監視しながら、分散補償量制御を行うことにより、伝送路の波長分散値の温度依存性および経時変化等にも対応することができる。なお、図21～26において、分散補償器16、18、32、34の配置は図示した例に限られず、例えば前述したような様々な変形が可能である。

【0022】受信側から各可変分散補償器へのフィードバック信号の転送方法としては、光ファイバ伝送路を用いた双方向通信方式や低速の電気アナログ通信方式等が

考えられる。さらに、CPU等を適用したり、システム全体を集中管理することにより、分散補償量の最適設定を自動的に行うことも可能である。また、運用回線と分散条件および敷設環境のほぼ等しい予備回線が存在する場合には、まず、予備回線において分散補償量の最適化を行った後、それらを参照して、運用回線に適用する方法により、サービスを中断することなく分散補償量の最適化が可能となる。

#### 【0023】

【発明の効果】本発明により、既設のファイバ伝送路を用いたままで、伝送速度の高速化を図ることができ、様々なファイバの種類(SMF、DSF)、中継間隔、波長分散値の長さ方向変動にも対応可能となり、システム全体のコスト低減に繋がる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る光伝送システムのブロック図である。

【図2】可変分散補償器の一例を示す図である。

【図3】図2の可変分散補償器の各セグメントへ与える電圧 $V_1 \sim V_{21}$ のパターンA～Dを示すグラフである。

【図4】各電圧パターンA～Dにおける分散値を示すグラフである。

【図5】図1の光伝送システムの一変形のブロック図である。

【図6】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図7】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図8】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図9】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図10】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図11】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図12】本発明の第2の実施例に係る光伝送システムのブロック図である。

【図13】離散可変分散補償器の一例のブロック図である。

【図14】図12の光伝送システムの一変形のブロック図である。

【図15】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図16】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図17】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図18】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図 19】図 12 の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図 20】図 12 の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図 21】本発明の第 3 の実施例に係る光伝送システムのブロック図である。

【図 22】図 21 の光伝送システムの一変形のブロック図である。

【図 23】図 21 の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図 24】図 21 の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図 25】図 21 の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図 26】図 21 の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図 27】伝送特性測定部 36 の詳細な構成を示すブロック図である。

【図 28】図 27 のマイクロコンピュータ 40 の動作のフローチャートである。

【図 29】Q 値の定義を示す図である。

【符号の説明】

12…SMF

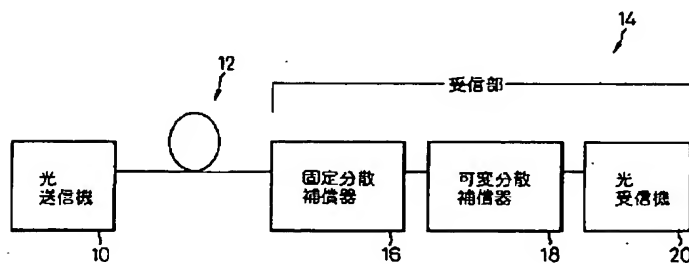
22…チャープファイバグレーティング

24…圧電素子

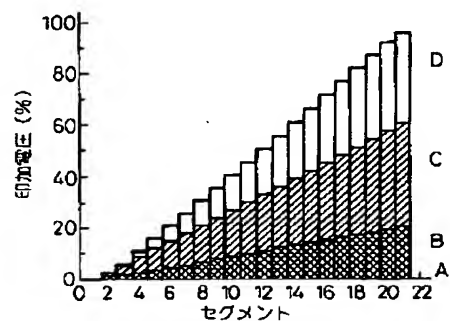
36…DCF

38…1×4 スイッチ

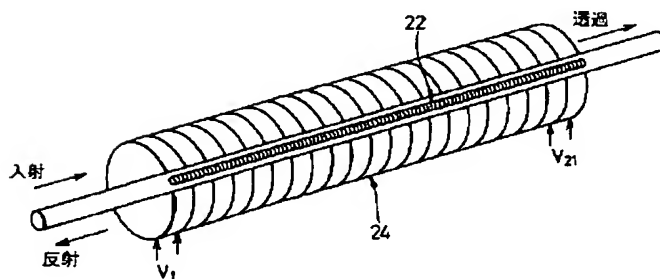
【図 1】



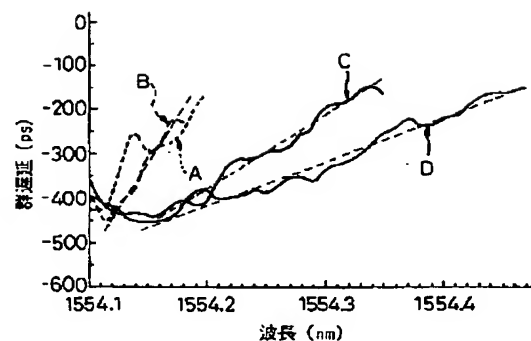
【図 3】



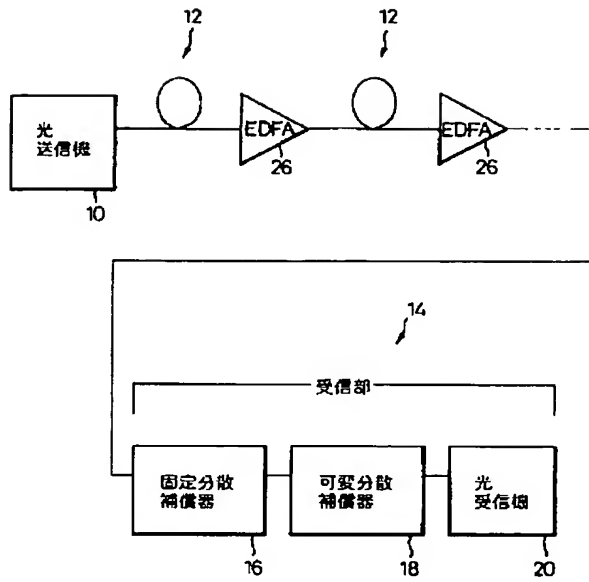
【図 2】



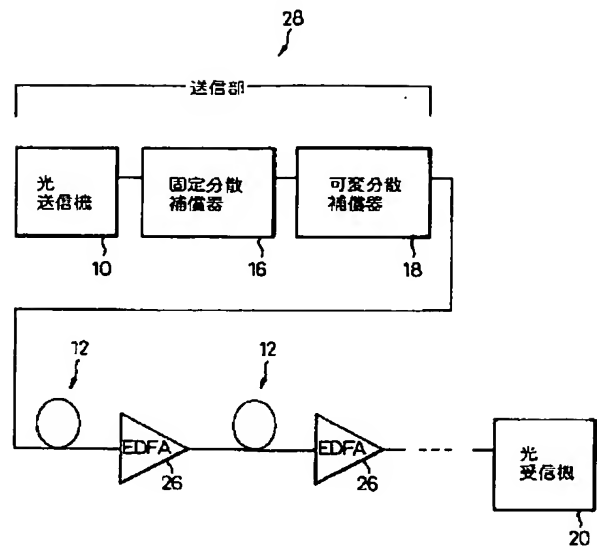
【図 4】



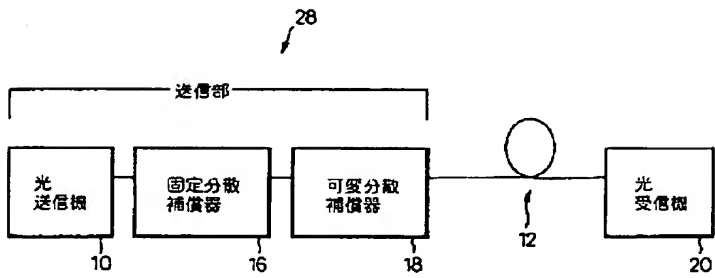
【図 5】



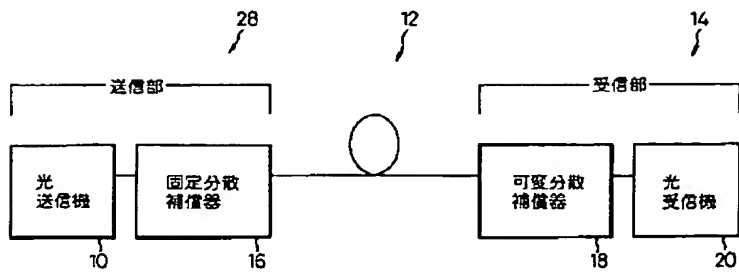
【図 7】



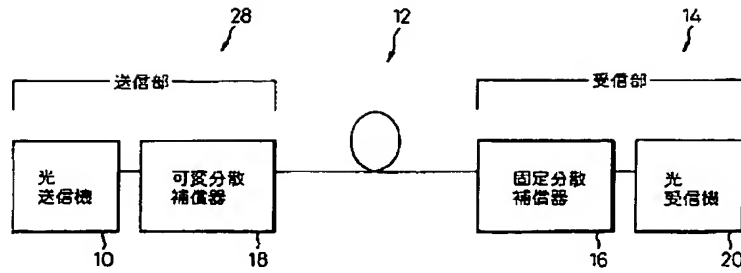
【図 6】



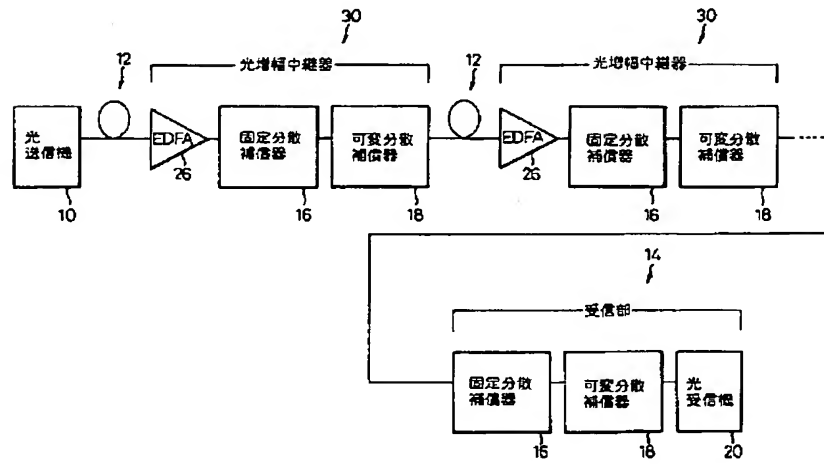
【図 8】



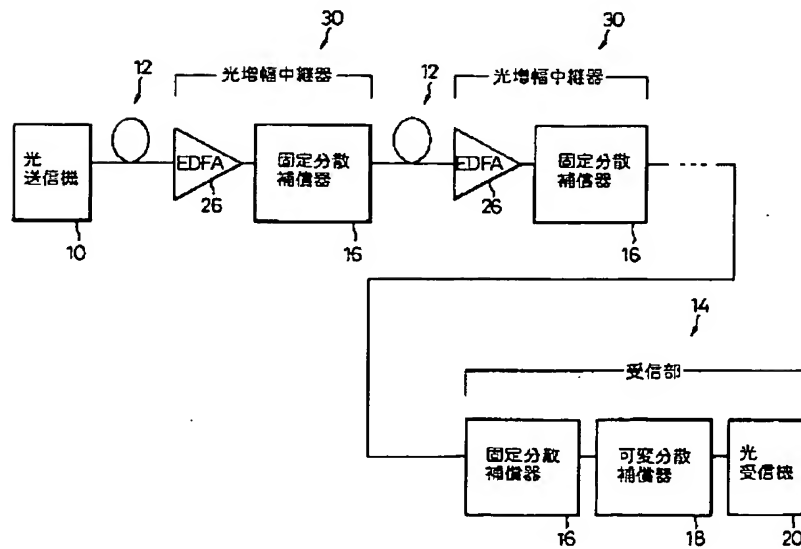
【図 9】



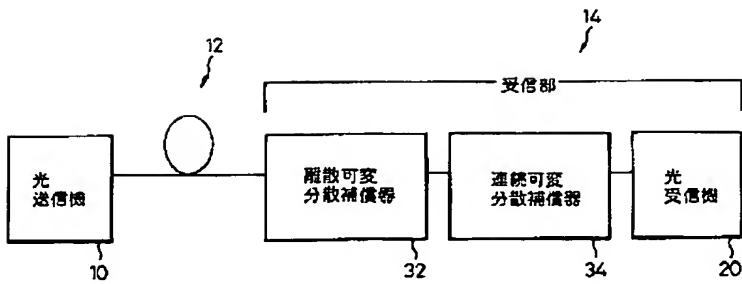
【図 10】



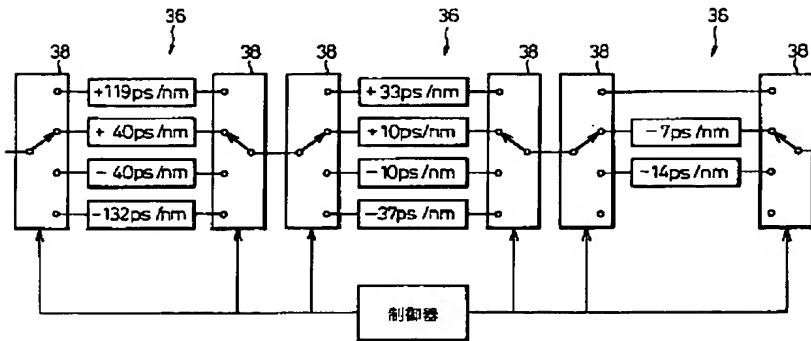
【図 11】



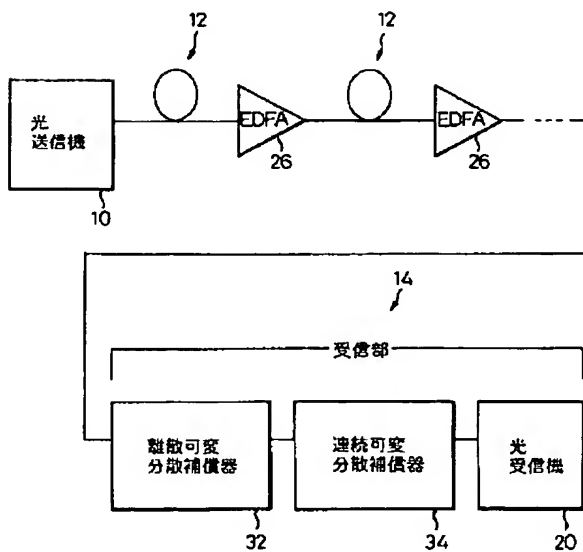
【図 12】



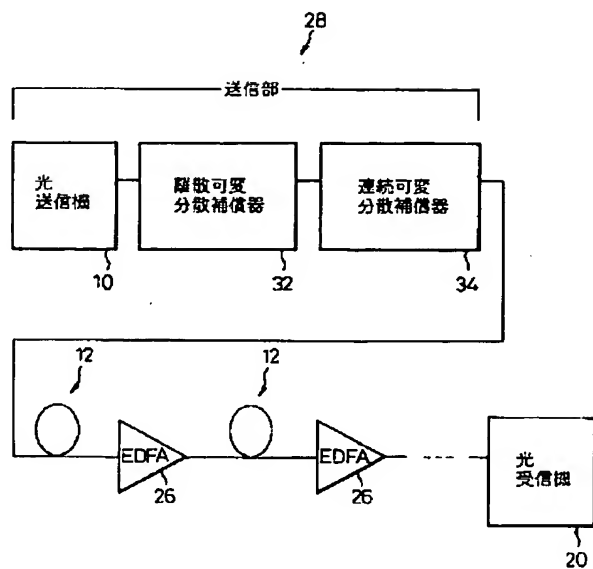
【図 13】



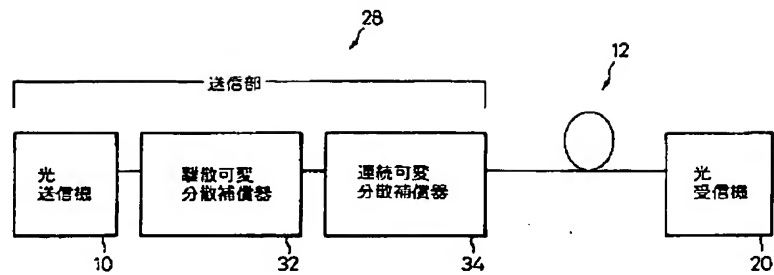
【図 14】



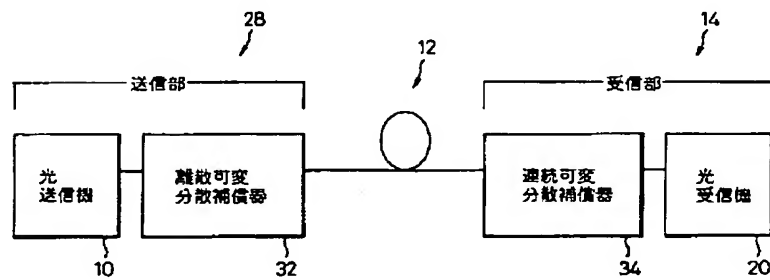
【図 16】



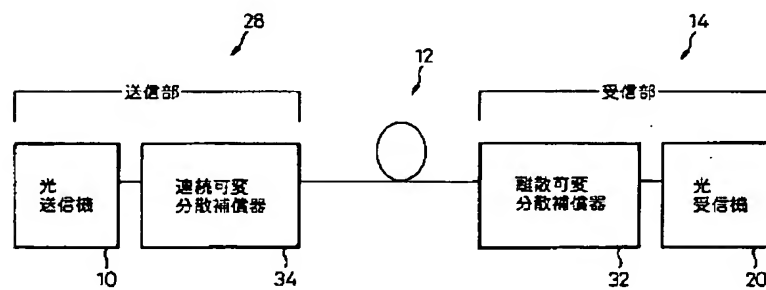
【図 15】



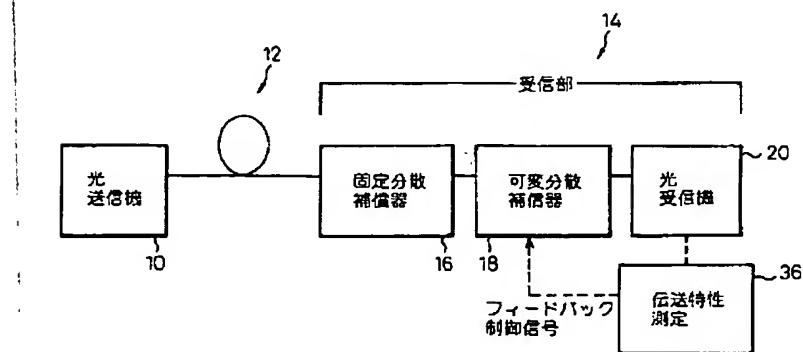
【図 17】



【図 18】

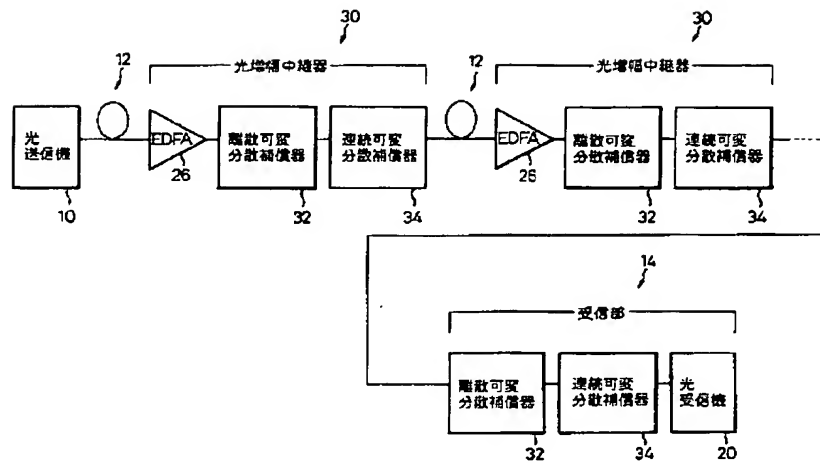


【図 21】

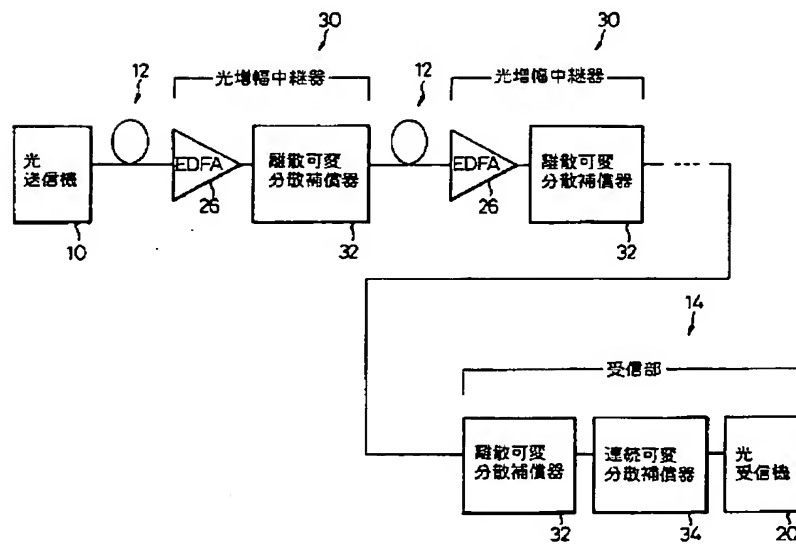




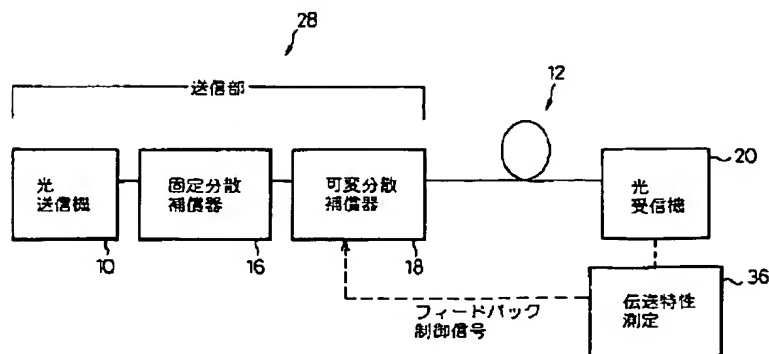
【図 19】



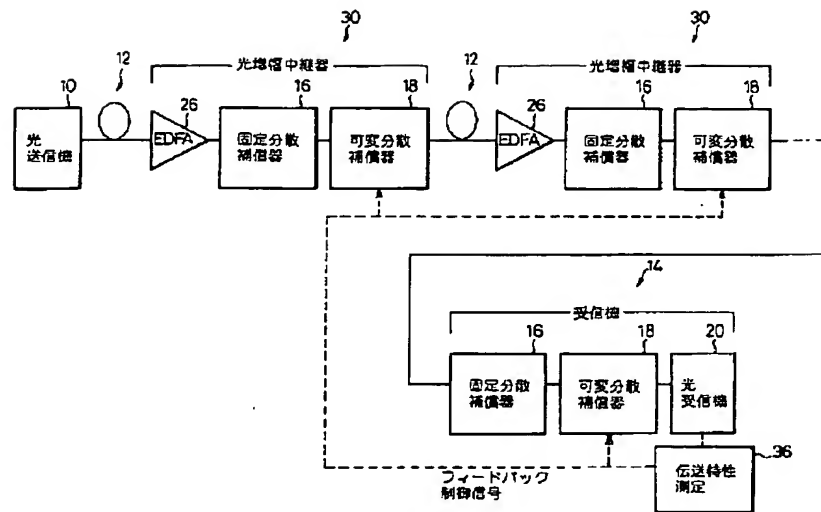
【図 20】



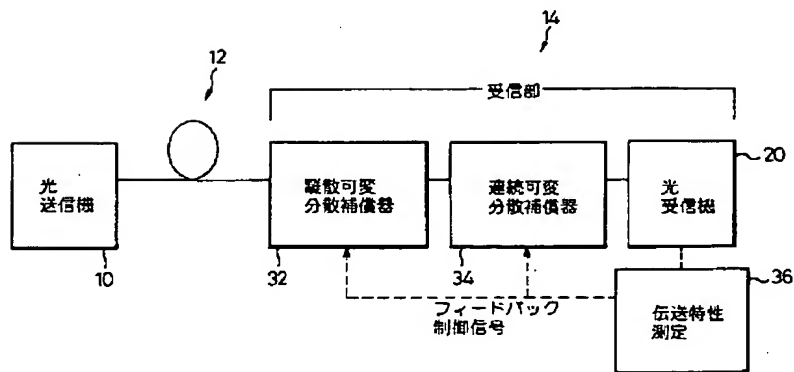
【図 22】



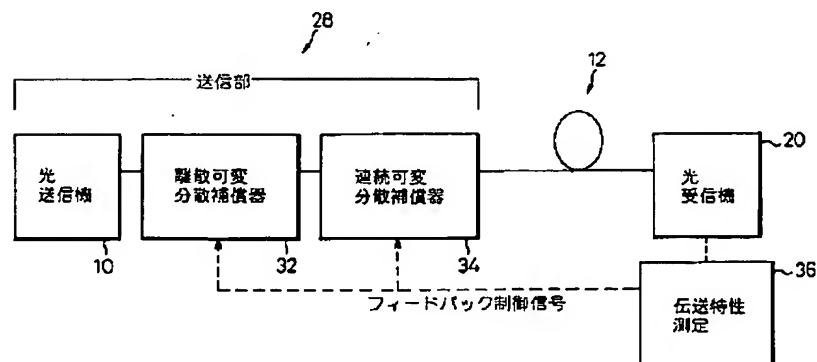
【図 23】



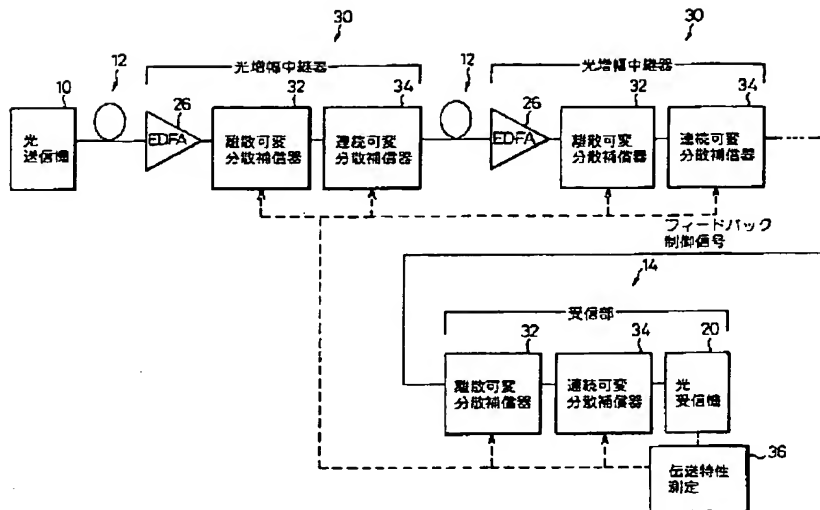
【図 24】



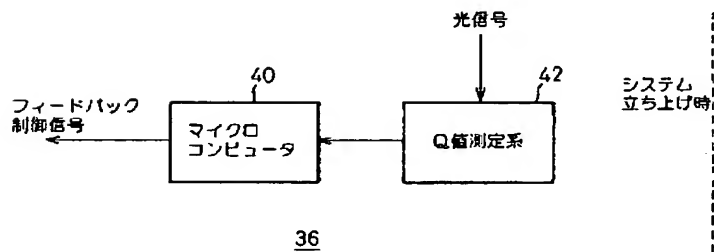
【図 25】



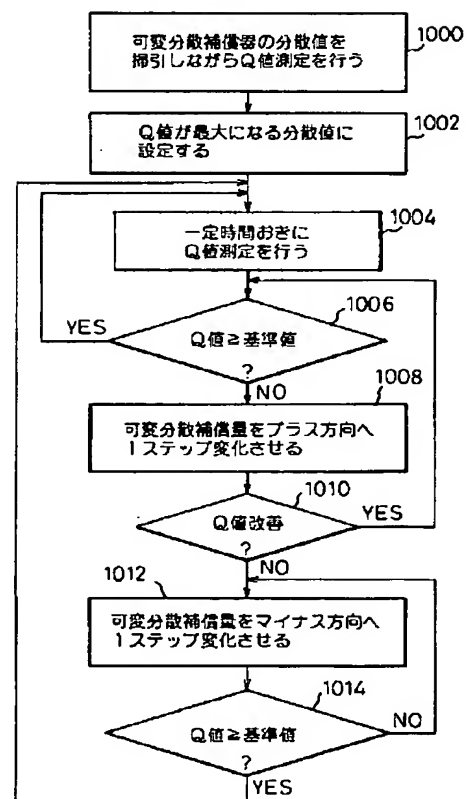
【図 26】



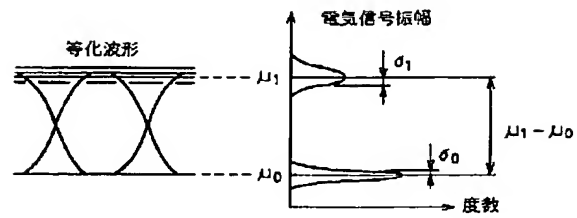
【図 27】



【図 28】



【図 2 9】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F I

H 0 4 B 10/13

10/12